昆 虫 学 报 Acta Entomologica Sinica, June 2006, 49(3):387 – 392 ISSN 0454-6296

在受重金属 Zn^{2+} 胁迫的斜纹夜蛾幼虫寄主上双斑侧沟茧蜂的生存与发育

夏　嫱，胡新军，舒迎花，孙虹霞，张古忍*，古德祥

（中山大学有害生物控制与资源利用国家重点实验室/昆虫学研究所，广州　510275）

摘要：通过在植食性昆虫斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius 幼虫人工饲料中添加不同浓度的 Zn^{2+}，测定了连续 3 代取食含不同 Zn^{2+} 浓度饲料幼虫的血淋巴中 Zn^{2+} 含量，并研究了被 Zn^{2+} 胁迫的斜纹夜蛾幼虫对寄生性天敌双斑侧沟茧蜂 *Microplitis bicoloratus* Chen 生存与发育的影响。结果表明，斜纹夜蛾幼虫血淋巴中 Zn^{2+} 含量随饲料中 Zn^{2+} 浓度和幼虫取食世代数的增加而增加；Zn^{2+} 胁迫斜纹夜蛾幼虫对双斑侧沟茧蜂的寄生率、从寄生到结茧的时间、蛹期长短、成虫羽化率和成虫寿命等都有不同程度的影响，其中以第 2 代的寄生率和第 1 代的羽化率受影响最大，均随着 Zn^{2+} 浓度的增大而降低。因此，寄主饲料中高浓度的 Zn^{2+} 能通过食物链影响双斑侧沟茧蜂的生存和发育。

关键词：双斑侧沟茧蜂；斜纹夜蛾；重金属；锌；寄生率；发育历期；羽化率；成虫寿命

中图分类号：Q966　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2006)03-0387-06

Survival and development of *Microplitis bicoloratus* Chen on larvae of *Spodoptera litura* Fabricius stressed by heavy metal zinc

XIA Qiang, HU Xin-Jun, SHU Ying-Hua, SUN Hong-Xia, ZHANG Gu-Ren*, GU De-Xiang (State Key Laboratory for Biocontrol & Institute of Entomology, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: By feeding the host, *Spodoptera litura* Fabricius, larvae with artificial diets treated with different concentrations of zinc for 4 generations, the side effects of zinc on the survival and development of *Microplitis bicoloratus* Chen, a larval parasitoid of *S. litura*, were estimated. The results indicated that the zinc contents of *S. litura* hemolymph increased with the increase of zinc concentrations in diets and generations of the phytophagous insect. The parasitism rate, time from parasitism to pupae, pupal duration, adult emergence rate, and adult female longevity of *M. bicoloratus* wasp were influenced to some extent. Specially, the adult emergence rate of the first generation and the parasitism rate of the second generation decreased significantly with the increase of the zinc concentration in their host diets. It was so concluded that high dose zinc in the diet of herbivorous insects affected the survival and development of their larval parasitoid *M. bicoloratus* through food chain to some extent.

Key words: *Microplitis bicoloratus*; *Spodoptera litura*; heavy metal; zinc; parasitism rate; developmental duration; emergence rate; adult longevity

随着城市化和工业化的飞速发展，农田环境污染问题日益突出，重金属成为农田土壤的主要污染因子，如重金属锌已经成为我国城市郊区和矿山周围农田土壤重要的污染元素之一。柴世伟等(2004)对广州、深圳、珠海、佛山、中山等五市郊区表层及底层土壤重金属含量的调查表明，表层土中的锌含量平均为 166.9 mg/kg，最高达到 1 343 mg/kg，而背景值仅为 49.7 mg/kg。在富锌土壤中种植的蔬菜，收获期青菜叶中的锌含量高达 1 297.5 mg/kg，花苔中锌含量达 1 141.8 mg/kg，其他蔬菜也有不同程度的富集作用(吴金桂等，1996)。毫无疑问，从这些土地上生产的蔬菜和粮食必将严重影响当地城镇和郊区

基金项目：广东省科技计划项目(2005B20501005)；广东省自然科学基金团队项目(E039254)

作者简介：夏嫱，女，1973 年生，博士，研究方向为昆虫生态与害虫生物防治，现工作单位为遵义医学院珠海校区，E-mail：xiaqiangqiang@hotmail.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail：zhanggr@mail.sysu.edu.cn

收稿日期 Received：2005-08-17；接受日期 Accepted：2005-11-09

居民的身体健康，这也是重金属污染问题受到普遍关注的重要原因之一。但取食蔬菜的植食性昆虫及其天敌因此可能受到的影响，以及可能产生的长期后果却很少研究，我们对此所知还非常有限（Mulder *et al*.，2005）。

斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius（鳞翅目：夜蛾科）是一种重要的蔬菜害虫，其寄主植物多达 99 科 290 多种（官宝斌等，1999；陈乾锦等，2003），是世界性的农业害虫。双斑侧沟茧蜂 *Microplitis bicoloratus* Chen（膜翅目：茧蜂科）是斜纹夜蛾 2、3 龄幼虫体内的独寄生蜂（蒋杰贤等，2003），在田间，该寄生蜂对斜纹夜蛾种群数量的增长有较强的控制作用，被寄生的斜纹夜蛾 4 龄幼虫的发育时间显著延长，食量明显下降，且不能发育到 5 龄。

我们通过在斜纹夜蛾幼虫饲料中添加不同浓度的 Zn^{2+}，研究了 Zn^{2+} 在斜纹夜蛾幼虫血淋巴内的累积以及不同 Zn^{2+} 浓度胁迫下的斜纹夜蛾幼虫对双斑侧沟茧蜂的寄生率、羽化率、结茧所需时间、蛹期长短以及成虫寿命的影响，以期揭示农田 Zn^{2+} 污染对天敌可能产生的影响。

1 材料与方法

1.1 斜纹夜蛾及双斑侧沟茧蜂的饲养

斜纹夜蛾卵由中山大学昆虫学研究所养虫室提供，自 2000 年起在养虫室用人工饲料进行连续繁殖（陈其津等，2000）。自卵中孵出的幼虫接入含有添加不同 Zn^{2+} 浓度的人工饲料的塑料盒内进行饲养，连续饲养 3 代。饲养条件为 26 ± 1℃、16L∶8D、RH 75% ± 5%。双斑侧沟茧蜂于 2003 年 5 月采自广东省阳春县菜地，在养虫室内用斜纹夜蛾 3 龄初幼虫作为寄主进行继代饲养（罗开珺等，2005）。饲养条件为 28 ± 1℃、12L∶12D、RH 75% ± 5%。

1.2 Zn^{2+} 的胁迫处理

重金属 Zn^{2+} 的来源为 $ZnCl_2$，将 Zn^{2+} 按 0（对照）、50、100、150、500、1 000 mg/kg 的浓度分别添加在人工饲料中，连续 4 代饲喂斜纹夜蛾幼虫。以第 1 代幼虫化蛹后，羽化成虫所产的卵作为第 2 代虫源，第 3、4 代依此类推。以第 1、2、3 代 4 龄幼虫作为重金属 Zn^{2+} 含量测定的供试材料；以第 3、4 代 3 龄初幼虫作为寄生蜂寄生的供试材料。

1.3 斜纹夜蛾幼虫血淋巴中 Zn^{2+} 含量测定

取第 1、2、3 代 4 龄幼虫 30 头，以针刺其第 3 腹足取血淋巴。取 2 mL 血淋巴放入 50 mL 安培瓶中，后加入 10 mL 浓硝酸，置电炉上消化，待棕色气体消失冒白烟后移开安培瓶让其自然冷却，冷却后加入 1 mL 浓高氯酸继续消化，待棕色气体消失得到透明溶液后取下安培瓶，冷却后用定性滤纸过滤，去离子水定容至 50 mL。以浓硝酸和高氯酸为空白对照，用等离子体原子发射光谱仪 IRIS Advantage（HR）测定各个样品的 Zn^{2+} 含量。每个处理 3 个重复。

1.4 Zn^{2+} 胁迫斜纹夜蛾幼虫对双斑侧沟茧蜂生存和发育的影响

将羽化当天的成蜂 50 头放入直径为 5 cm 的广口瓶中，群居 48 h 令其自由交配，并喂以 10% 的蜂蜜水。48 h 后按雌雄性比 1∶1 配对，接入直径为 10 cm、高为 12 cm 两端开口的玻璃筒中，每筒 1 对蜂，并喂以 10% 蜂蜜水。玻璃筒的一端用封口膜封口，另一端用纱布包住并覆以黑布。在封口膜封口的一侧放入新鲜的、叶柄用浸过蒸馏水的脱脂棉包裹的番薯叶片 2 片，接入用重金属 Zn^{2+} 胁迫 3 代的 3 龄初斜纹夜蛾幼虫 30 头。24 h 后移走寄生蜂，每天更换新鲜的叶片继续饲养寄主直至双斑侧沟茧蜂钻出斜纹夜蛾幼虫体表结茧。每个处理 3 个重复。每天观察双斑侧沟茧蜂的寄生情况，统计寄生率（寄生数以结茧数计算），记录结茧时间、蛹期、成虫羽化率和成虫寿命。

以实验中羽化的寄生蜂为蜂源，进行第 2 代实验，方法同上。

1.5 数据分析和统计处理

斜纹夜蛾幼虫血淋巴 Zn^{2+} 含量（mg/L）的计算公式为：Zn^{2+} 含量 $= C \times 50/W$。其中 C 表示等离子体原子发射光谱仪测得的浓度，W 表示血淋巴的体积（mL）。血淋巴中 Zn^{2+} 浓度的数据经 $\log_{10}(x+1)$ 转换后，采用 SAS 8.0 进行方差分析和多重比较；以斜纹夜蛾幼虫血淋巴中 Zn^{2+} 含量（Y）对饲料中 Zn^{2+} 浓度（X）拟合曲线进行回归分析。

双斑侧沟茧蜂数据的计算：寄生率 =（结茧数/接虫数）× 100%；羽化率 =（出蜂数/结茧数）× 100%。结茧时间、蛹期和成虫寿命的数据均经 $\log_{10}(x+1)$ 转换，寄生率和羽化率数据经反正弦转换，转换后采用 SAS 8.0 进行分析，并比较其差异的显著性。

2 结果与分析

2.1 斜纹夜蛾幼虫血淋巴中 Zn^{2+} 含量测定

斜纹夜蛾幼虫取食含 Zn^{2+} 的饲料后，第 1、2、3

代幼虫血淋巴中均检测有 Zn^{2+} 的存在，且 Zn^{2+} 含量随处理浓度增大和世代数的增加而增加（图1）。虽然第1代幼虫血淋巴中 Zn^{2+} 含量与饲料中的 Zn^{2+} 浓度相关性没有达到显著水平（$R^2 = 0.7313$），但第2、3代幼虫血淋巴中 Zn^{2+} 含量均与斜纹夜蛾幼虫饲料中 Zn^{2+} 浓度显著相关（第2代：$R^2 = 0.9886$，$P < 0.05$ 第3代：$R^2 = 0.8991$，$P < 0.05$），具有明显的剂量-效应关系。这表明，当斜纹夜蛾幼虫食料中 Zn^{2+} 含量达到一定浓度时，会导致血淋巴中出现 Zn^{2+} 的过量富集。

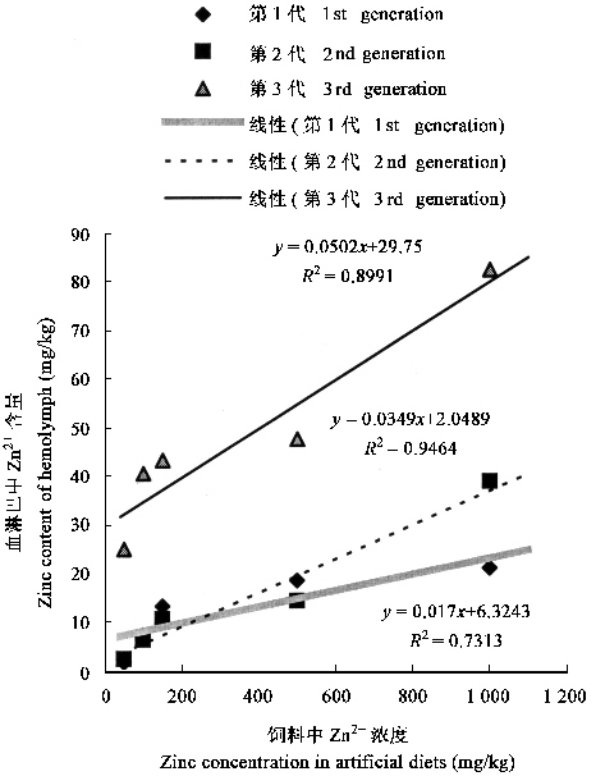

图1　斜纹夜蛾幼虫血淋巴对 Zn^{2+} 的累积

Fig. 1　Accumulation of zinc in hemolymph of *Spodoptera litura* larva

2.2　Zn^{2+} 胁迫寄主对双斑侧沟茧蜂寄生率的影响

不同浓度 Zn^{2+} 胁迫下的斜纹夜蛾幼虫对第2代双斑侧沟茧蜂寄生率的影响明显大于第1代（表1）。尽管第1代雌蜂对高浓度 Zn^{2+} 胁迫下的斜纹夜蛾幼虫的寄生率要低于对照和最低浓度（50 mg/kg）的处理，但各处理与对照之间并没有显著差异。第2代双斑侧沟茧蜂寄生率随着 Zn^{2+} 胁迫浓度的增加而显著降低（$F = 17.54$，$P < 0.05$），尤其是在1 000 mg/kg Zn^{2+} 浓度处理下雌蜂的寄生率仅为17.80%。因此，Zn^{2+} 胁迫斜纹夜蛾幼虫对其寄生性天敌双斑侧沟茧蜂的寄生率有一定的影响。

表1　Zn^{2+} 胁迫斜纹夜蛾幼虫对双斑侧沟茧蜂寄生率（%）的影响

Table 1　Effect of Zn^{2+} stressing *Spodoptera litura* larvae on the parasitism rate (%) of *Microplitis bicoloratus*

Zn^{2+} 浓度(mg/kg) Concentration of Zn^{2+}	试虫数(头) Larvae tested	寄生率 Parasitism rate (%) 第1代 1st generation	第2代 2nd generation
0	30×3	50.00±1.90 a	53.40±2.00 b
50	30×3	50.00±5.90 a	68.90±2.90 a
100	30×3	37.80±4.00 a	36.70±3.80 c
150	30×3	46.70±18.30 a	27.80±2.90 cd
500	30×3	44.40±6.80 a	41.90±8.30 bc
1 000	30×3	42.20±24.10 a	17.80±2.90 d

注：同一列平均数后不同的小写字母表示差异显著，第1代：$F = 0.13$，$P > 0.05$ 第2代：$F = 17.54$，$P < 0.05$。

Notes: The different small letters in a column indicated that there were significant differences between different treatments. 1st generation, $F = 0.13$, $P > 0.05$; 2nd generation, $F = 17.54$, $P < 0.05$.

2.3　Zn^{2+} 胁迫斜纹夜蛾幼虫对双斑侧沟茧蜂从寄生到结茧时间的影响

Zn^{2+} 对斜纹夜蛾幼虫的胁迫不同程度地影响了双斑侧沟茧蜂从寄生到结茧的时间（表2）。就第1代而言，不同处理下的双斑侧沟茧蜂结茧时间变化较大，相互之间也有一定的显著差异，但并没有明显的规律可循。而在不同处理条件下的第2代双斑侧沟茧蜂结茧时间，相互之间差异不显著。

表2　Zn^{2+} 胁迫斜纹夜蛾幼虫对双斑侧沟茧蜂从寄生到结茧时间的影响

Table 2　Effect of Zn^{2+} stressing *Spodoptera litura* larvae on the time from parasitism to cocoon of *Microplitis bicoloratus*

Zn^{2+} 浓度 Concentration of Zn^{2+} (mg/kg)	第1代 1st generation 观察虫数 Wasp larvae	时间 Time (d)	第2代 2nd generation 观察虫数 Wasp larvae	时间 Time (d)
0	45	8.91±0.75 b	48	10.70±0.62 a
50	40	7.64±0.18 c	60	10.07±0.32 a
100	33	9.17±0.17 b	34	9.65±0.39 a
150	42	8.41±0.22 bc	24	10.55±1.07 a
500	42	10.49±0.38 a	34	10.44±0.12 a
1 000	39	9.36±0.08 b	15	9.70±0.23 a

注：同一列平均数后不同的小写字母表示差异显著，第1代，$F = 11.37$，$P < 0.01$ 第2代，$F = 0.65$，$P > 0.05$。

Notes: The different small letters in a column indicated that there were significant differences between different treatments. 1st generation, $F = 11.37$, $P < 0.01$; 2nd generation, $F = 0.65$, $P > 0.05$.

2.4　Zn^{2+} 胁迫斜纹夜蛾幼虫对双斑侧沟茧蜂蛹期的影响

Zn^{2+} 胁迫对双斑侧沟茧蜂蛹期的影响比对结茧时间的影响要大，虽然蛹期均随 Zn^{2+} 浓度的增加而延长，但对第2代的影响明显大于第1代（表3）。第1代蛹期所需时间虽然也随 Zn^{2+} 浓度的增加而延

长，但各处理与对照之间差异并不显著；而第 2 代蛹期在高浓度（150 ~ 1 000 mg/kg）条件下，显著长于低浓度（50 ~ 100 mg/kg）的处理和对照（$F = 9.27$，$P < 0.01$）。

表 3 Zn^{2+} 胁迫斜纹夜蛾幼虫对双斑侧沟茧蜂蛹期的影响

Table 3 Effect of Zn^{2+} stressing *Spodoptera litura* larvae on the pupal duration of *Microplitis bicoloratus*

Zn^{2+} 浓度 Concentration of Zn^{2+} (mg/kg)	第 1 代 1st generation		第 2 代 2nd generation	
	观察蛹数 Pupae observed	蛹期(d) Pupal duration	观察蛹数 Pupae observed	蛹期(d) Pupal duration
0	45	4.68 ± 0.22 a	48	3.83 ± 0.44 c
50	40	6.50 ± 0.29 a	60	5.56 ± 0.29 ab
100	33	6.00 ± 0.58 a	34	4.88 ± 0.25 bc
150	42	5.25 ± 0.63 a	24	7.25 ± 0.14 a
500	42	6.33 ± 0.88 a	34	7.33 ± 0.67 a
1 000	39	5.56 ± 0.73 a	15	6.00 ± 0.58 ab

注：同一列平均数后不同的小写字母表示差异显著，第 1 代：$F = 1.38$，$P > 0.05$；第 2 代，$F = 9.27$，$P < 0.01$。

Notes: The different small letters in a column indicated that there were significant differences between treatments. 1st generation, $F = 1.38$, $P > 0.05$; 2nd generation, $F = 9.27$, $P < 0.01$.

2.5 Zn^{2+} 胁迫斜纹夜蛾幼虫对双斑侧沟茧蜂成虫羽化率的影响

Zn^{2+} 胁迫斜纹夜蛾幼虫同样对双斑侧沟茧蜂的羽化率产生了一定的影响（表 4），但对第 1、2 代的影响有所不同。双斑侧沟茧蜂寄生被 Zn^{2+} 胁迫的斜纹夜蛾幼虫后，第 1 代的羽化率均低于对照，且随着浓度的加大，羽化率降低显著（$F = 9.17$，$P < 0.05$），但当 Zn^{2+} 浓度达到或超过 150 mg/kg 时，处理间羽化率差异不显著。第 2 代不同处理下双斑侧沟茧蜂的羽化率与对照相比差异均不显著，有随处理浓度增加而升高的趋势，但变化规律不明显。

2.6 Zn^{2+} 胁迫对双斑侧沟茧蜂成虫寿命的影响

表 4 Zn^{2+} 胁迫斜纹夜蛾幼虫对双斑侧沟茧蜂成虫羽化率（%）的影响

Table 4 Effect of Zn^{2+} stressing *Spodoptera litura* larvae on the emergence rate (%) of *Microplitis bicoloratus* adults

Zn^{2+} 浓度 Concentration of Zn^{2+} (mg/kg)	第 1 代 1st generation		第 2 代 2nd generation	
	羽化蜂数(头) Wasps emerged	羽化率(%) Emergence rate	羽化蜂数(头) Wasps emerged	羽化率(%) Emergence rate
0	24	53.60 ± 5.00 a	15	33.20 ± 4.70 a
50	21	44.60 ± 4.40 ab	24	45.90 ± 17.00 a
100	9	29.50 ± 6.60 bc	15	44.20 ± 16.50 a
150	7	21.10 ± 2.70 c	6	28.10 ± 11.10 a
500	6	14.50 ± 7.30 c	12	35.40 ± 7.50 a
1 000	8	16.80 ± 4.20 c	9	50.70 ± 16.20 a

注：同一列平均数后不同的小写字母表示差异显著，第 1 代：$F = 9.17$，$P < 0.05$；第 2 代：$F = 0.44$，$P > 0.05$。

Notes: The different small letters in a column indicated that there were significant differences between different treatments. 1st generation, $F = 9.17$, $P < 0.05$; 2nd generation, $F = 0.44$, $P > 0.05$.

表 5 Zn^{2+} 胁迫斜纹夜蛾幼虫对双斑侧沟茧蜂雌成虫寿命的影响

Table 5 Effect of Zn^{2+} stressing *Spodoptera litura* larvae on the longevity of *Microplitis bicoloratus* adult females

Zn^{2+} 浓度 Concentration of Zn^{2+} (mg/kg)	第 1 代 1st generation		第 2 代 2nd generation	
	雌蜂数(头) Females	寿命(d) Longevity	雌蜂数(头) Females	寿命(d) Longevity
0	8	6.07 ± 0.67 a	5	8.04 ± 0.20 a
50	7	3.83 ± 0.73 ab	8	6.26 ± 0.59 b
100	3	5.00 ± 0.00 a	5	4.83 ± 0.22 bc
150	3	3.08 ± 0.58 b	2	4.41 ± 0.30 c
500	2	5.59 ± 0.75 a	4	5.65 ± 0.36 bc
1 000	2	4.67 ± 0.33 ab	3	4.94 ± 0.24 bc

注：同一列平均数后不同的小写字母表示差异显著，第 1 代，$F = 4.95$，$P < 0.05$；第 2 代，$F = 14.74$，$P < 0.01$。

Notes: The different small letters in a column indicated that there were significant differences between different treatments. 1st generation, $F = 4.95$, $P < 0.05$; 2nd generation, $F = 14.74$, $P < 0.01$.

Zn^{2+} 胁迫斜纹夜蛾幼虫后，明显影响了双斑侧沟茧蜂雌性成虫的寿命（表 5）。斜纹夜蛾幼虫经不同 Zn^{2+} 浓度胁迫后，羽化的第 1、2 代双斑侧沟茧蜂雌性成虫的寿命都有缩短的趋势，但在各处理间的变化规律不太明显。因羽化率低的原因，导致后期能够用于实验的雌性成虫数较少，对结果的分析可能产生了一定的影响。

3　讨论

生物体具有吸收、累积重金属的功能。当重金属的吸收量大于排出体外的量时，重金属就会在体内各部位积累起来，通过食物链传给更高的营养级。本实验饲料中 Zn^{2+} 通过斜纹夜蛾幼虫的取食在斜纹夜蛾的血淋巴中累积，并通过食物链对它的上一营养级——双斑侧沟茧蜂产生影响。

有些内寄生蜂卵的卵黄蛋白含量很少，必须依赖寄主血淋巴提供一定的营养物质才能完成胚胎发育（Consoli and Vinson，2004），因而寄主血淋巴的变化，可能会引起寄生蜂的生态指标的变化。本研究结果表明，以受不同浓度 Zn^{2+} 胁迫的斜纹夜蛾幼虫作为寄主，双斑侧沟茧蜂在寄生率、从寄生到结茧的时间、蛹期、成虫羽化率和成虫寿命等方面都受到不同程度的影响；其中以第 2 代的寄生率和第 1 代的羽化率受影响最大，均随着血淋巴中 Zn^{2+} 含量的增大而降低。Zn^{2+} 胁迫影响斜纹夜蛾幼虫的生长发育，并随着 Zn^{2+} 浓度的增大，在血淋巴中出现积累，并诱导血细胞的凋亡。这与对森林害虫舞毒蛾 *Lymantria dispar* 影响的研究结果相似，Zn^{2+} 能影响舞毒蛾幼虫血淋巴中的糖类和脂类代谢，降低海藻糖（trehalose）和山梨（糖）醇（sorbitol）的含量，从而改变血淋巴的营养组成（Bischof，1995），并进而影响舞毒蛾幼虫寄生蜂——茧蜂 *Glyptapanteles liparidis*（Bouché）幼虫的发育（Ortel *et al*.，1993）。Nakamatsu 和 Tanaka（2004）的研究结果也表明，血淋巴中海藻糖的量和寄生蜂幼虫发育的数量有明显的关联。本实验中第 1 代结茧所需时间随 Zn^{2+} 含量的增大而延长；第 2 代的寄生率和第 1 代的羽化率均随着血淋巴中 Zn^{2+} 含量的增大而降低，这可能均是由于 Zn^{2+} 含量使寄主体内的生理指标发生变化所致。但本实验斜纹夜蛾幼虫血淋巴中 Zn^{2+} 含量与寄生蜂的某些生态指数没有表现出明显的剂量-效应关系，其原因尚不清楚。Zn^{2+} 胁迫除使双斑侧沟茧蜂上述生物学指标受到影响外，第 2 代双斑侧沟茧蜂幼虫钻出寄主体外后，与寄生未经重金属胁迫的斜纹夜蛾幼虫的茧蜂幼虫相比较，体色较白，部分不能结茧。这可能因为过量摄入的 Zn^{2+} 对寄生蜂吐丝产生影响，使寄生蜂发育异常，影响正常结茧（夏嫱，2005）。锌胁迫的斜纹夜蛾幼虫，连续数代作为双斑侧沟茧蜂的寄主，其种群增长呈下降的趋势（另文发表）。

自然条件下，富锌土壤会导致蔬菜等作物对锌的大量吸收（吴金桂等，1996），作为斜纹夜蛾幼虫主要寄主植物的叶菜类，其叶和花苔中的锌含量（1 297.5和 1 141.8 mg/kg）均超过土壤背景值（49.7 mg/kg）以及本实验所设置的 Zn^{2+} 最高处理浓度（1 000 mg/kg）。因此，本实验结果可以在一定程度上揭示，重金属锌引起的农田土壤污染，能够通过植物和植食性昆虫而间接地对处于第 3 营养层的内寄生性天敌如寄生蜂产生一定的负面影响，但其机理尚待进一步研究。

参 考 文 献（References）

Bischof C，1995. Effects of heavy metal stress on carbohydrate and lipid concentrations in the haemolymph and total body tissue of parasitized *Lymantria dispar* L. larvae（Lepidoptera）. *Comp. Biochem. Physiol.*，112C（1）：87－92.

Chai SW，Wen YM，Wei XG，Zhang YN，Dong HY，Chen YJ，2004. Heavy metal content characteristics of agricultural soils in the Pearl River delta. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*，43（4）：90－94.［柴世伟，温琰茂，韦献革，张云霓，董汉英，陈玉娟，2004. 珠江三角洲主要城市郊区农业土壤的重金属含量特征. 中山大学学报（自然科学版），43（4）：90－94］

Chen QJ，Li GH，Pang Y，2000. A simple artificial diet for mass rearing of some noctuid species. *Entomological Knowledge*，37（6）：325－327.［陈其津，李广宏，庞义，2000. 饲养五种夜蛾科昆虫的一种简易人工饲料. 昆虫知识，37（6）：325－327］

Chen QJ，Zhang GS，Guan BB，Zhang YZ，Chen JH，2003. Studies on biology and ecology of *Microplitis prodeniae*（Viereck）. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*，25（2）：199－203.［陈乾锦，张根顺，官宝斌，张玉珍，陈家骅，2003. 烟田斜纹夜蛾侧沟茧蜂的生物学和生态学研究. 江西农业大学学报，25（2）：199－203］

Consoli FL，Vinson SB，2004. Host regulation and the embryonic development of the endoparasitoid *Toxoneuron nigriceps*. *Comp. Biochem. Physiol. B：Biochem. Mol. Biol.*，137：463－473.

Guan BB，Chen QJ，Chen JH，Zhang YZ，Zhang ZH，Zhang JZ，1999. Studies on biology and ecology of *Prodenia litura*（Fabricius）. *Entomological Journal of East China*，8（1）：57－61.［官宝斌，陈乾锦，陈家骅，张玉珍，张章华，张建忠，1999. 斜纹夜蛾的生物学和生态学研究. 华东昆虫学报，8（1）：57－61］

Jiang JX，Wang KW，Jiang ZR，2003. Bionomics of *Microplitis* sp.（Hymenoptera），and the effect of parasitism on the development and food consumption of *Spodoptera litura* larvae. *Journal of Shanghai*

Jiaotong University (*Agricultural Science*), 21(2): 125–130. [蒋杰贤, 王奎武, 蒋祝瑞, 2003. 斜纹夜蛾侧沟茧蜂生态学特性及寄生对寄主发育和取食的影响. 上海交通大学学报(农业科学版), 21(2): 125–130]

Luo KJ, Gu DX, Zhang GR, Chen ZQ, 2005. Ovary structures of two parasitic wasps, *Microplitis bicoloratus* and *Diglyhus isaea*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(1): 69–71. [罗开珺, 古德祥, 张古忍, 陈宗麒, 2005. 两种寄生蜂的卵巢结构与卵成熟特点初步观察. 昆虫知识, 42(1): 69–71]

Mulder C, Aldenberg T, de Zwart D, van Wijnen HJ, Breure AM, 2005. Evaluating the impact of pollution on plant-Lepidoptera relationships. *Environmetrics*, 16: 357–373.

Nakamatsu Y, Tanaka T, 2004. Correlation between concentration of hemolymph nutrients and amount of fat body consumed in lightly and heavily parasitized hosts (*Pseudaletia separata*). *J. Insect Physiol.*, 50: 135–141.

Ortel J, Gintenreiter S, Nopp H, 1993. The effects of host metal stress on a parasitoid in an insect/insect relationship (*Lymantria dispar* L. Lymantriidae Lepid. -*Glyptapanteles liparidis* Bouché Braconidae Hym.). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 24: 421–426.

Wu JG, Li ZM, Xu YD, Lou DR, 1996. Extravagant absorption of vegetables to Zn. *Chinese Journal of Soil Science*, 27(5): 228–229. [吴金桂, 李正明, 徐跃定, 娄德仁, 1996. 蔬菜奢侈吸锌特性研究. 土壤通报, 27(5): 228–229]

Xia Q, 2005. Effect of Heavy Metals Ni^{2+} and Zn^{2+} Stress on *Spodoptera litura* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae) and Its Larval Parasitoid Wasp *Microplitis* sp. (Hymenoptera: Braconidae). Guangzhou: PhD Dissertation, Sun Yat-Sen (Zhongshan) University. [夏嫱, 2005. 重金属 Ni^{2+}, Zn^{2+} 胁迫对斜纹夜蛾及其寄生蜂的影响研究. 广州: 中山大学博士学位论文]

(责任编辑: 黄玲巧)